

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-326528

(43) 公開日 平成9年(1997)12月16日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

H 0 1 S 3/18

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 S 3/18

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数10 F D (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平8-163669

(22) 出願日 平成8年(1996)6月5日

(71) 出願人 000001214

国際電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号

(72) 発明者 宇佐見 正士

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号 国際  
電信電話株式会社内

(72) 発明者 鶴沢 宗文

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号 国際  
電信電話株式会社内

(72) 発明者 松島 裕一

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号 国際  
電信電話株式会社内

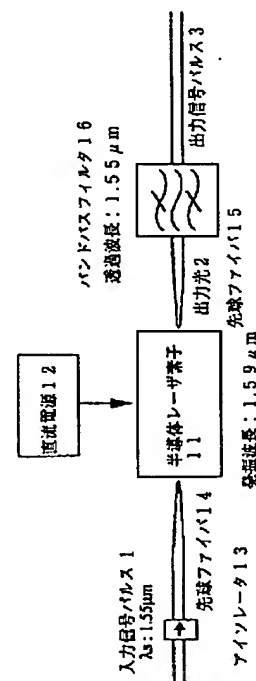
(74) 代理人 弁理士 大塚 学

(54) 【発明の名称】 短光パルス波形整形装置

(57) 【要約】

【課題】 光パルス幅がキャリア寿命時間以下のピコ秒程度に短い入力光信号パルス列の雑音除去や波形整形を効果的に行うことができる短光パルス波形整形装置を提供する。

【解決手段】 半導体レーザ素子と、該半導体レーザ素子に電流を注入させて発振状態にする手段と、該半導体レーザ素子の発振光の波長より短い波長の短光パルスよりなる入力信号パルス光を該発振状態にある半導体レーザ素子に入射させる手段と、該発振状態にある半導体レーザ素子から波形整形された該短光パルス光を該半導体レーザ素子の発振出力光と区別して取り出す手段とを備えた構成を有している。



**【特許請求の範囲】**

【請求項 1】 半導体レーザ素子と、該半導体レーザ素子を発振状態にするために該半導体レーザ素子へ電流を注入させる手段と、該半導体レーザ素子の発振光の波長よりも短い波長の短光パルスよりなる信号光パルスを該半導体レーザ素子に入射させる手段と、該半導体レーザ素子から出射される該信号光パルスを取り出す手段とを有することを特徴とする短光パルス波形整形装置。

【請求項 2】 半導体レーザ素子と、該半導体レーザ素子を発振状態にするために該半導体レーザ素子へ電流を注入させる手段と、該半導体レーザ素子の発振光の波長よりも短い波長の短光パルスよりなる信号光パルスを該半導体レーザ素子に入射させる手段と、該半導体レーザ素子から波形整形された該信号光パルスを取り出す手段とを有することを特徴とする短光パルス波形整形装置。

【請求項 3】 該半導体レーザ素子から出射される該信号光パルスを取り出す手段が、該信号光パルスを該発振光とは区別して取り出されるように構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の短光パルス波形整形装置。

【請求項 4】 該半導体レーザ素子から出射される該信号光パルスを取り出す手段が、該半導体レーザから出射される該信号光パルスと該発振光パルスと該発振光を受光して該信号光パルスのみを透過するバンドパスフィルタを有することを特徴とする請求項 1 に記載の短光パルス波形整形装置。

【請求項 5】 該半導体レーザ素子が単一波長で発振することを特徴とする請求項 1 に記載の短光パルス波形整形装置。

【請求項 6】 該半導体レーザ素子が複数波長で発振し、該半導体レーザ素子の発振光の波長よりも短い波長の短光パルスよりなる信号光パルスを該半導体レーザ素子に入射させる手段が該半導体レーザ素子のもっとも短い発振光の波長よりも短い波長の短光パルスよりなる信号光パルスを該半導体レーザ素子に入射させる手段であることを特徴とする請求項 1 に記載の短光パルス波形整形装置。

【請求項 7】 該半導体レーザ素子が面型の半導体レーザ素子であり、該半導体レーザ素子の発振光の波長よりも短い波長の短光パルスよりなる信号光パルスを該半導体レーザ素子に入射させる手段が、該半導体レーザ素子の発振光の出射方向に対して異なる角度から該信号光パルスを該半導体レーザ素子に入射させる構成であり、該半導体レーザ素子から出射される該信号光パルスを取り出す手段が、該信号光パルスと該発振光の出射方向が異なる角度であることを利用して該信号光パルスのみを取り出す構成であることを特徴とする請求項 1 に記載の短光パルス波形整形装置。

【請求項 8】 該半導体レーザ素子の活性層が多重量子

井戸で構成されることを特徴とする請求項 1 に記載の短光パルス波形整形装置。

【請求項 9】 該半導体レーザ素子の活性層の多重量子井戸が、該半導体レーザ素子の TE および TM 偏波光に対する利得が一致するように、引っ張りひずみを持つように構成されたことを特徴とする請求項 8 に記載の短光パルス波形整形装置。

【請求項 10】 該半導体レーザ素子の発振光の波長よりも短い波長の短光パルスよりなる信号光パルスを該半導体レーザ素子に入射させる手段が、該半導体レーザ素子の発振光の波長よりも 0.01  $\mu\text{m}$  以上 0.06  $\mu\text{m}$  以下の程度に短い波長の短光パルスよりなる信号光パルスを該半導体レーザ素子に入射させる構成であることを特徴とする請求項 1 に記載の短光パルス波形整形装置。

**【発明の詳細な説明】****【0001】**

【産業上の利用分野】本発明は、光伝送システム、光交換システムで用いる光パルスの雑音を除去したり、波形を整形する装置に関するものである。

**【0002】**

【従来の技術】半導体の吸収飽和効果を用いた可飽和吸収素子は、短光パルスの波形整形や雑音除去に用いることができる。半導体の吸収飽和効果とは、バンド端近くのエネルギーの光を半導体に入射した場合、入射光強度が増加すると吸収率（透過率）が非線形的に減少（増加）する性質のことであり、これは吸収により発生した電子正孔対がバンド内の状態占有率を上昇させ、吸収端が高エネルギー側にシフトするバンドフィリング効果によって生ずる。したがって、光パルスの無い場合、微弱的な雑音成分は可飽和吸収素子に吸収されるが、ある強度以上の光パルスが入射されると、その光パルスは可飽和吸収素子を透過することになる。その結果、可飽和吸収素子を短光パルスの波形整形や雑音除去に用いることができる。

**【0003】**

【発明が解決しようとする課題】しかし、この半導体可飽和吸収素子の短光パルスに対する透過率の時間特性を見ると、光を吸収し吸収率が低下するパルスの立ち上がり時には、ピコ秒程度の十分高速な応答を見せるが、光パルスの立ち下がり時、すなわち光強度が弱くなり、吸収率が元の値まで回復するときに要する時間はナノ秒程度のキャリア（電子および正孔）寿命時間程度の時間を要する。その様子を模式的に示したのが図 6 である。図 6 (a) は光パルス強度の時間変化を、同図 (b) は先願に係る可飽和吸収素子の吸収係数の時間変化を表したものである。したがって、キャリア寿命時間以下のパルス幅を持つ信号に対しては、信号光に追従した波形整形や雑音除去を完全に行なうことができない。可飽和吸収素子ではキャリア寿命時間を短くする方法として、不純物、欠陥等を吸収層に導入する方法や、また、p-n 接

合に逆バイアスを印加しキャリアを引き抜く方法、吸収領域で生じたキャリアをトンネル現象により引き抜く方法、等様々な手法が提案されているが、ピコ秒程度の光パルスに十分応答するような高速性は実現されていない。

【0004】このように、可飽和吸収素子を用いた短光パルス波形整形装置は、一度吸収飽和状態になった後、吸収率が元の値まで回復するのに要する時間はキャリア寿命時間で制限されるという欠点があった。したがって、このような可飽和吸収素子ではキャリア寿命時間以下のパルス幅を持つ信号に対しては、波形整形や雑音除去を完全に行なうことができないという欠点があった。

【0005】本発明の目的は、上述した、光パルス幅がキャリア寿命時間以下のピコ秒程度に短い入力光信号パルス列の雑音除去や波形整形を効果的に行うことができる短光パルス波形整形装置を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】この目的を達成するために、本発明による短光パルス波形整形装置は、半導体レーザ素子と、該半導体レーザ素子に電流を注入させて発振状態にする手段と、該半導体レーザ素子の発振光の波長より短い波長の短光パルスよりなる入力信号パルス光を該発振状態にある半導体レーザ素子に入射させる手段と、該発振状態にある半導体レーザ素子から波形整形された該短光パルス光を取り出す手段とを備えた構成を有している。

【0007】

【発明の実施の形態】本発明では、キャリア寿命時間で制限される先願に係る可飽和吸収素子の吸収回復時間の高速化を図り、光パルス幅がピコ秒程度に短い入力光信号パルス列の雑音除去や波形整形を効果的に行なう。本発明の最大の特徴は可飽和吸収素子として発振状態の半導体レーザを用いることである。

【0008】次に、本発明の原理を詳細に説明する。図1(a)は、本発明に用いる半導体レーザ素子に入射する光信号パルスの光強度の時間変化を、同図(b)は半導体レーザ素子の信号パルス光に対する吸収係数の時間変化を表した模式図である。

【0009】図2は、本発明において信号パルス光を照射(入射)することを特徴とする発振状態にある半導体レーザ素子の活性層内の伝導帯の電子のエネルギー分布を時系列で示した模式図である。ここで、図1と図2における添字は、それぞれ(A):信号パルス光が入射前、(B):信号パルス光入射時、(C):信号パルス光立ち下がり直後、(D):信号パルス光の入射終了後の様子を表している。図2(A)は信号パルス光が入射前の定常状態における伝導帯の電子分布を示した図であり、ほぼそのピークに対応した波長で発振している。一方、発振波長より短波である入射信号光に対しては十分な吸収係数を持つ状態である[図1(b)-(A)]。

次に、信号パルス光が入射時には、信号パルス光は活性層で吸収され、信号パルス光に相当するエネルギーの電子密度が急激に増加し[図2(B)]、吸収係数は急激に低下する[図1(b)-(B)]。これはスペクトルホールバーニングと呼ばれるが、このスペクトルホールバーニングはバンド内遷移によって熱平衡状態の分布に100フェムト秒程度で緩和し、図2(C)に示す分布となる。この瞬間のキャリア密度は信号パルス光が入射前のキャリア密度に比べて増大しており、吸収係数が低下している。しかし、この増大したキャリアは発振による誘導放出によって瞬時に光に変換され、定常状態[図2(D、A)]に戻る。この誘導放出に伴うキャリア密度の減少は100フェムト秒程度の応答速度を持つ。このように、半導体レーザ素子が信号パルス光に対して可飽和吸収素子として動作し、誘導放出とバンド内緩和の応答速度で吸収回復を達成することができる。

【0010】以上のように、一度吸収飽和状態になった後、吸収率が元の値まで回復するのに要する時間は、従来の可飽和吸収素子ではキャリア寿命時間で制限されていたが、本発明によればキャリア寿命時間以下にすることができる。したがって、本発明により、光パルス幅がピコ秒程度に短い光信号パルス列の雑音除去や波形整形を効果的に行なうことができる。

【0011】以上が、本発明の原理ならびに従来技術との相違点を明確に説明したものである。

【0012】このように、本発明により光パルス幅がピコ秒程度に短い光信号パルス列の雑音除去や波形整形を効果的に行なうことができる。この様子を模式的に示したのが図3である。図3(a)は、実際の入力信号波形を表したものであり、信号パルス光に雑音成分が重畳している。図3(b)は従来の可飽和吸収素子の出力信号波形を表したものであり、信号パルス光が入力する前の雑音は除去するが、信号パルス光の直後は吸収率が回復しないため、雑音は除去できない。一方、図3(c)は本発明による発振状態にある半導体レーザに発振光より短波長の信号パルス光を入射した時の出力光から信号パルス光のみを取り出したものであり、パルス前後の雑音は完全に除去されたような状態になる。また、信号パルス光の裾の部分も吸収され、波形整形をほぼ完全に行うことができる。この場合半導体レーザ素子は可飽和吸収素子として動作する。

【0013】

【実施例1】以下に本発明の実施例を詳細に説明する。図4は本発明による実施例における光パルス波形整形装置の構成図を模式的に示したものである。半導体レーザ素子11の活性層はInGaAs/InGaAsPよりなる10層の多重量子井戸で形成されている導波路型素子で、素子長200 $\mu$ mである。半導体レーザ素子11には直流電源によりしきい値電流(7mA)よりわずかに大きい8mAの電流を流し発振させておく。レーザ

発振光は波長 1.59  $\mu\text{m}$ 、20 dB ダウンのスペクトル全幅 20 nm、片端出力 5 dBm である。入力信号パルス光 1 はアイソレータ 13、および結合のための先球ファイバ 14 を通して半導体レーザ素子 11 に入射される。この、信号パルス光 1 は波長 1.55  $\mu\text{m}$  10 Gbps / パルス幅 20 ps の光ソリトン波 (0 dBm) である。実際の入力信号パルス光は、入力信号パルス光 1 に雑音成分が重畳しており、雑音レベルはパルス光の尖頭レベルに対して -15 dB のレベルにある。半導体レーザ素子 11 からの出力光 2 はレーザ発振光と信号パルス光とが重畳されているが、信号パルス光のみを通すバンドパスフィルタ 16 によってフィルタリングされ出力信号パルス光 3 となる。

【0014】以下に、入射された信号パルス光の吸収率 (透過率) が半導体レーザ素子中で時間とともに変化する様子を図 2 (a) を用いて説明する。まず、信号光パルス 1 が入る前、すなわち (A) の状態では、定常的な発振状態で、発振光より波長の短い信号光に重畳されている低レベルの雑音成分は半導体レーザ素子 11 によって十分吸収される。これが、雑音除去機能である。次に、信号パルス光 1 の立ち上がりにおいては光強度が大きくなったところ (B) で半導体レーザ素子 11 内での信号パルス光 1 の吸収係数は低下し、光パルスは透過するようになる。このとき、光強度が小さい光パルスの裾は十分吸収されるため、透過パルスの立ち上がりは、入力パルスに比べて急峻となる。これが、波形整形機能である。次に、光パルスの立ち下がり直後 (C) は、吸収飽和状態になった半導体レーザ素子 11 の吸収係数は低下したままであるので、パルス立ち下がり部は透過する。その後 (D)、残存キャリアがレーザ発振による誘導放出によって急激に減少し、吸収率が回復する。その結果、信号光に重畳されている雑音成分は再び吸収されることになる。半導体レーザ素子 11 からは出力光 2 として波形整形された信号パルス光と発振光の 2 つの波長の光が出力されるため、バンドパスフィルタ 16 によって、信号パルス光のみを選択する。その結果、最終的な出力信号パルス 3 は、発振光成分を含まない信号パルス光が得られた。また、雑音レベルは、パルス光の尖頭レベルに対して -22 dB となり、入力信号に比べて 7 dB 低下させることができた。

【0015】本発明の構成によれば、可飽和吸収素子の吸収率の回復はピコ秒程度であり、光パルス幅がピコ秒程度に短い光信号パルス列の雑音除去や波形整形を効果的に行なうことができる。

【0016】

【実施例 2】図 5 は本発明による第 2 の実施例における光パルス波形整形装置の構成図を模式的に示したものである。半導体レーザ素子 17 は面発光型で、活性層は InGaAs / InGaAsP よりなる 15 層の多重量子井戸で形成されている。半導体レーザ素子 17 に直流

電流をしきい値電流 (20 mA) よりわずかに大きい 21 mA の電流を流し発振させておく。レーザ発振光 5 は波長 1.59  $\mu\text{m}$ 、20 dB ダウンのスペクトル全幅 20 nm、片端出力 5 dBm である。一方、信号パルス光 1 は、第 1 の実施例と同一であり、半導体レーザ素子 17 への入射は、発振光の光路 (素子に対して垂直方向) と干渉しないように、レンズ 18 で集光し、半導体レーザ素子 17 に対し斜めから照射する。この場合、出射信号パルス光 4 も発振光 5 と干渉しない方向へ出射されるため、実施例 1 のように必ずしもバンドパスフィルタによって信号パルス光のみを選択する必要はなくなる。また、面発光型の特徴として、偏波無依存性が挙げられる。本実施例の作用や効果は第 1 の実施例の場合と同じである。

【0017】以上の実施例では、半導体レーザ素子の活性層に一般的な多重量子井戸構造を用いたが、本発明は半導体レーザ素子の構造に依存することなく、あらゆる種類の半導体レーザ素子に適用することが可能である。たとえば、TE および TM 偏波光に対する利得が一致するように、該多重量子井戸が引っ張りひずみをもつように構成された歪多重量子井戸構造や、井戸層厚を交互に変化させ積層した多重量子井戸構造や、量子細線や量子箱といった低次元量子構造を活性層とした半導体レーザ素子を用いることができる。さらに、実施例では単一波長で発振する半導体レーザ素子を用いる例を示したが、複数波長で発振する半導体レーザを用いてもよい。複数波長で発振する半導体レーザ素子を用いる場合には、半導体レーザ素子のもっとも短い発振光の波長よりも短い波長の短光パルスよりなる信号光パルスを半導体レーザ素子に入射させる手段を用いる必要がある。また、半導体レーザ素子の発振光の波長よりも 0.01  $\mu\text{m}$  以上 0.06  $\mu\text{m}$  以下の程度に短い波長の短光パルスよりなる信号光パルスを用いれば、前記の波形整形機能がより安定化する効果がある。さらに、半導体レーザ素子の材料として 1.5  $\mu\text{m}$  帯 InGaAsP 系半導体を用いたが、その他の III-V 系半導体、II-VI 系半導体にも簡単に応用できる。これら半導体材料は格子整合系のみならず、格子不整合の材料を用いることもできる。光信号波長も現在光伝送及び光交換等で広く用いられている 0.8 ミクロン帯や、1.3、1.5  $\mu\text{m}$  帯の他、それらの半導体で吸収及び増幅が可能な波長帯であれば任意の波長帯で、本発明を適用することが可能である。

【0018】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、一度吸収飽和状態になった後、吸収率が元の値まで回復するのに要する時間は、従来の可飽和吸収素子ではキャリア寿命時間で制限され、数 100 ピコ秒程度であった。本発明によれば、半導体レーザ内の誘導放出を利用することで、吸収回復時間をキャリア寿命時間を大きく下まわる 100 フェムト秒程度にすることができる。したがって、本

発明により光パルス幅がピコ秒程度に短い光信号パルス列の雑音除去や波形整形をほぼ完全に行なうことができ、実用的効果は大きい。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明による半導体レーザ素子を用いた短光パルス波形整形装置に入射する信号パルス光強度の時間変化 (a) および半導体レーザ素子の信号パルス光に対する吸収係数の時間変化 (b) を示した模式図である。

【図 2】本発明により信号パルス光を入射した半導体レーザ素子の活性層の伝導帯の電子分布を時系列で示した模式図である。

【図 3】雑音の重畳した信号を従来の可飽和吸収素子と本発明による半導体レーザ素子を用いた短光パルス波形整形装置に入力したときの出力信号波形を示した模式図である。

【図 4】本発明による第 1 の実施例のブロック図である。

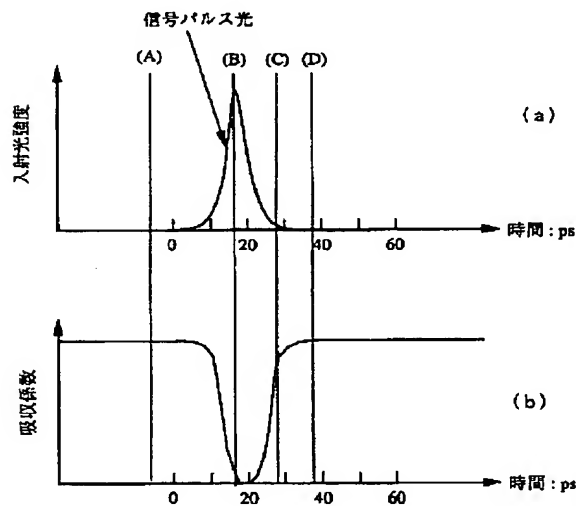
【図 5】本発明による第 2 の実施例のブロック図である。

【図 6】従来の可飽和吸収素子に入射する信号パルス光強度の時間変化特性図 (a)、および吸収係数の時間変化特性図 (b) である。

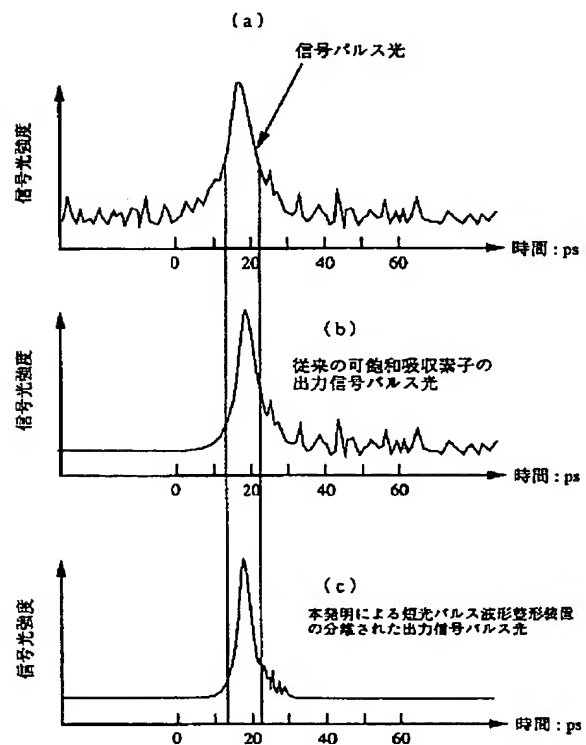
【符号の説明】

- 1 入力信号パルス
- 2 出力光
- 3 出力信号パルス
- 4 出力信号パルス
- 5 発振光
- 11 半導体レーザ素子
- 12 直流電源
- 13 アイソレータ
- 14 先球ファイバ
- 15 先球ファイバ
- 16 バンドパスフィルタ
- 17 面型半導体レーザ素子
- 18 レンズ
- 19 レンズ

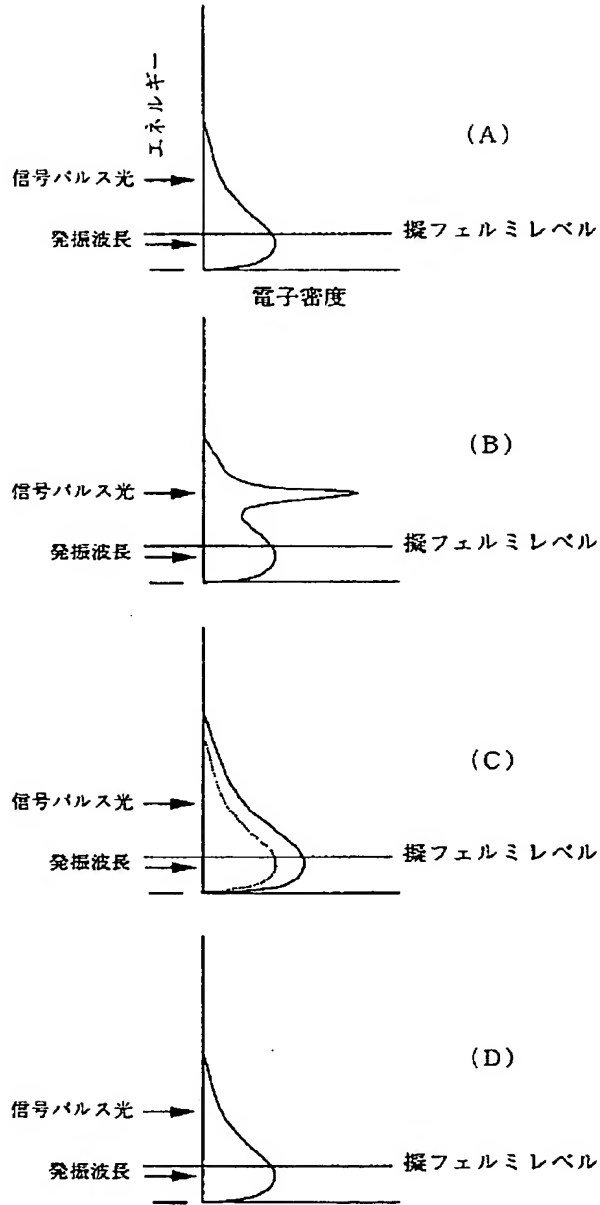
【図 1】



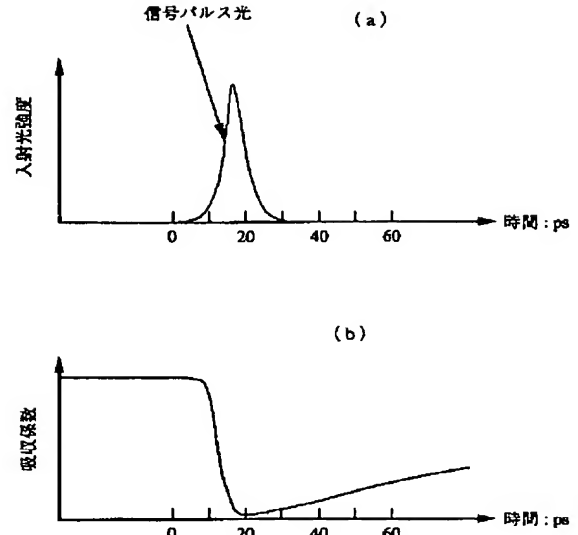
【図 3】



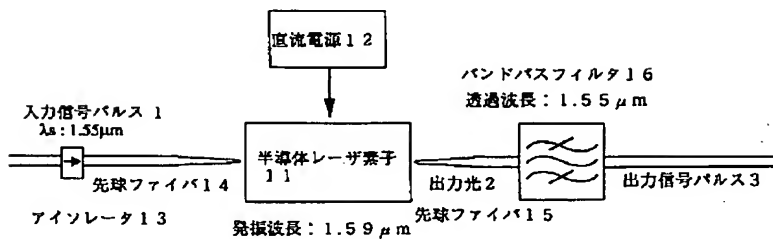
【図 2】



【図 6】



【図 4】



【図 5】

